Vol.14, No.1, Spring 2025, pp.210-226 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

Research Article DOI: 10.22067/geoeh.2023.79388.1293 Open Access

Estimating the amount of erosion and sedimentation in Zimkan watershed basin in Kermanshah province with an emphasis on influencing variables

Shahram Roostaei[a*], Seyyed Asadullah Hijazi[b], Hedieh Shirzadi[c]

[a] Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Tabriz University, Tabriz Iran
[b] Associate Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Tabriz University, Tabriz, Iran
[c] Ph.D in Geomorphology,Department of Physical Geography, Tabriz University, Tabriz, Iran

Article Info

Article history

Received :*11 December 2022*

Received in revised form : *31 January 2023*

Accepted: *24 February 2023*

Available online : *21 March 2025*

Keywords:

Zimkan watershed Basin, Soil erosion modeling, EPM (Erosion Potential Method), MPSIAC (Modified PSIAC), Sediment yield estimation, GIS-based assessment

Abstract

Soil erosion is one of the most important problems that has affected human life in recent years. The type and intensity of soil erosion in a region depend on climatic conditions, altitude, soil, and land use. Meanwhile, the importance of land use is greater than other factors due to the effective role of humans in influencing it. In this research, to estimate the amount of erosion and sedimentation in the Zimkan watershed, we used two methods, MPSIAC and EPM, each of which evaluates nine factors (geology, soil, climate, water flow, elevation, vegetation, land use, landform, and river erosion) and four factors (erosion, land use, soil sensitivity, and the average slope of the basin), respectively. Then, ArcGIS software and Sentinel-2 satellite sensor images were used in the ENVI 5.3 environment to prepare the related layers. The results showed that the erosion values in the MPSIAC and EPM models were 5,142.9 and 6,401.2 tons per year, respectively, and the amounts of sediment were 2,461.25 and 3,624.72 tons per year, respectively. The erosion class and severity of the basin's erodibility, in terms of soil loss, are in critical condition. The highest intensity of erosion and sediment production was observed in the outlet sections of the basin. It is necessary to implement management and protection policies at the watershed level. It was also found that the results of the MPSIAC method are closer to the actual observations in the basin than those of the EPM method.

*.Corresponding author : Dr. Shahram Roostaei E-mail address: roostaei@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: Roostaei, S., Shirzadi, H., & Hijazi, E. (2025). Estimating the amount of erosion and sedimentation in Zimkan catchments in Kermanshah province with an emphasis on influencing variables. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *14*(1), pp. 210-226.
DOI: https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.79388.1293

Extended Abstract

Introduction

The amount of erosion in a watershed can be determined if there are sufficient records of discharge and sediment data by applying statistical methods. However, in many basins across the country, there are no measurements of soil erosion and sediment production, which requires the use of experimental methods to estimate soil erosion. To estimate the amount of sediment and erosion in a region, there are many methods, including the modified global equation of soil erosion. This model is a suitable method for calculating soil losses because the results show no significant difference from those measured in the region.

Material and Methods

The Zimkan or Zamkan river basin is located in the north of Dalaho city and the west of Kermanshah province. The drainage pattern of this basin is rectangular with an area of 2,324 square kilometers and flows from the southeast to the northwest. This basin is bounded from the west by the Piran basin and from the north by the Posht Teng basin and the Lima river basin. The basin is located at the geographical coordinates of 46°4'30" to 46°11'8" east longitude and 34°35'44" to 34°22'56" north latitude. The research was conducted using two models for comparison, and the methodologies of these two models and their outputs are introduced below.

EPM Model

Introduced in 1988 by Gavrilovic at the international conference on river regimes for estimating the amount of erosion and sedimentation, this model was applied after 40 years of research on erosion plots in Yugoslavia. This model estimates reliable and acceptable results of the erosion rate with four main factors. The factors of this model are mentioned in the table, and after scoring and processing the data with the help of ARC/GIS software, they were calculated.

MPSIAC Model

The PSIAC method was presented in 1968 by the Water Management Committee in the United States for calculating the intensity of soil erosion and sediment production in arid and semi-arid areas. This method was modified in 1982. In Iran, this model was implemented for the first time in 1973 in the Dez Dam watershed, and it evaluates nine factors to calculate erosion and sediment production. Each of these factors has been examined from both quantitative and qualitative perspectives, with five qualitative grades and quantitative scores ranging from -10 to +25.

Results and Discussion

This research was conducted with the aim of estimating the erosion and sedimentation of the study area using EPM and MPSIAC models and comparing the results with actual measurements. To present the results, the final layers were classified and information was extracted from them. By preparing the required maps from the layers of the previous stage and analyzing the obtained information layers, appropriate outputs were prepared.

Conclusion

The difference between the calculated values of the annual sediment amounts by the MPSIAC method is small. This is in contrast to the EPM model, where this difference is large, demonstrating the accuracy of the MPSIAC model in estimating the amount of sediment.

Additionally, the low erosion class covers the largest area of the basin, accounting for about 58% of the total area, while the high and medium erosion classes cover nearly the same area. This nevertheless indicates that the study area is predominantly affected by erosion. Finally, the specific and annual sediment yields of the Zimkan catchment calculated by the EPM and MPSIAC models show that the sediment delivery ratio and specific erosion estimates in this basin differ significantly between the two models. Based on this, the EPM model produced higher estimates for both parameters. Therefore, it can be concluded that the MPSIAC model is more reliable, as its outputs are closer to reality.

جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صص۲۲۶-۲۱۰ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI:10.22067/geoeh.2023.79388.1293 دسترسی آزاد

برآورد میزان فرسایش ورسوب حوضه آبریز زیمکان در استان کرمانشاه با تأکید بر متغیرهای تاثیرگذار

شهرام روستایی[1*]، سید اسداله حجازی[2]، هدیه شیرزادی[3]

[1] استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[2] دانشیار گروه ژئومورفولوژی،دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[3] دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵

کلمات کلیدی:

حوضه آبریز زیمکان

مدلسازی فرسایش خاک

روش پتانسیل فرسایش (EPM)

روش اصلاح‌شدهPSIAC (MPSIAC)

برآورد بار رسوب

ارزیابی مبتنی بر GIS

چکیده

فرسایش خاک از مهمترین مشکلاتی است که طی سال‌های اخیر زندگی بشر را تحت الشعاع قرار داده است. نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه، تابع شرایط اقلیمی، پستی بلندی زمین، خاک و کاربری اراضی است. که در این میان اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان بر آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر است. در این پژوهش جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه آبریز زیمکان با بکارگیری دو روشMPSIAC و EPM، که هرکدام به ترتیب نه عامل(زمین‌شناسی، خاک، آب‌وهوا، روان آب، پستی‌بلندی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه ای) و چهارعامل (فرسایش، استفاده از زمین، حساسیت خاک و شیب متوسط حوضه) را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. و در ادامه از نرم افزار ArcGIS و تصاویر سنجنده ماهوارهSentinel2 در محیط ENVI 5.3 جهت تهیه لایه‌های مرتبط استفاده گردید. نتایج نشان داد که مقادیر فرسایش در دو مدل MPSIAC و EPM به ترتیب ۵۱۴۲/۹، ۶۴۰۱/۲ تن در سال و میزان رسوب به ترتیب ۲۴۶۱/۶۳، ۳۶۲۴/۷۲ تن در سال و کلاس و شدت فرسایش‌پذیری حوضه از لحاظ هدر رفت خاک در وضعیت شدید قرار دارد. که بیشترین شدت فرسایش و تولید رسوب در بخش‌های جنوب و جنوب غرب حوضه مشاهده شد. لزا اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی در سطح حوزه ضروری است. و همچنین مشخص شد که نتایج روش MPSIAC نسبت به روشEPM به مشاهدات واقعی در حوضه نزدیکتر می‌باشد.

* نویسنده مسئول: دکتر شهرام روستایی E-mail: roostaei@tabrizu.ac.ir

مقدمه

محاسبه میزان فرسایش در یک حوضه آبریز در صورت موجود بودن آمار کافی از دبی و رسوب با به کارگیری روش‌های آماری امکان‌پذیر می‌باشد ولی نبود یا کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های کشور کاربرد روش‌های تجربی را برای برآورد فرسایش خاک الزامی می‌کند. برای مطالعات روی شدت فرسایش یک منطقه روش‌های زیادی مطرح هستند ولی انتخاب روش اصولی و کارآمد در جهت انجام محاسبات دقیق اهمیت زیادی دارد(Hejazi, Ahmadi & Shahabi, 2018). امروزه تلاش‌های قابل توجهی در جهت توسعه مدل‌های فرسایش صورت گرفته تا پیامدهای ناشی از این فرایند را کاهش دهند(Mezbani, Rezaei Moghadam & Hejazi, 2021). بنابرین شناخت عوامل موثر در فرسایش نیازمند بررسی و مطالعات کاربردی است تا مدل مناسب با توجه به شرایط حوضه انتخاب شود(Shirzadi, 2009). مقادیر خروجی رسوب از حوضه آبریز به ویژگی‌های زیادی بستگی دارد از جمله می‌توان به نوع خاک، شرایط اقلیمی، طبیعی، فیزیوگرافی حوضه و کاربری اراضی اشاره نمود که در این میان کاربری اراضی بیشترین سهم را در این زمینه دارد(Talebi Khiavi, Zabihi & Mostafazadeh, 2017). از طرفی نوع کاربری اراضی به طور مستقیم با فعالیت انسان در ارتباط است به گونه ای که بسته به نوع استفاده‌ای که از زمین انجام می‌گیرد در تضعیف و تشدید مقاومت خاک نقش موثری دارد(Sadeghi, Mostafazadeh & Sadoddin, 2015). مدل‌های متعددی که جهت محاسبه فرسایش و رسوب به کار میرود هرکدام معایب و مزایایی دارند و بکارگیری همزمان چند مدل صحت و دقت محاسبات را بالا می‌برد(Guzmán, Barrón & Gómez, 2010). در بیشتر پژوهش‌های انجام شده به دلیل پیچیدگی فرایند فرسایش و کمبود آمار و ایستگاه‌های اندازگیری برای سهولت در کار از روش تجربی استفاده می‌گردد(Rastgoo, Ghahraman, Sanei Nejad, Davary & Khodashenasi, 2006). جهت کاهش اثرات جبران‌ناپذیر فرسایش خاک و اجرای پروژه‌های حفاظتی از خاک نخستین گام مطالعات اساسی و بنیادی روی شرایط فیزیکی حوضه و نوع خاک و شرایط اقلیمی و واکنش رواناب و الگوی پراکنش کاربری اراضی می‌باشد(Asghari Saraskanrood, Mozaffari & Esfandiari, 2022). در مطالعاتی که روی پارامترهای تاثیرگذار در فرایند فرسایش خاک و تولید رسوب انجام می‌گیرد عامل بهره‌برداری از اراضی نقش کلیدی را در این زمینه ایفا می‌کند(Kassas, 1984). لزا تغییرات کاربری و به زیر کشت بردن سطح زیادی از مراتع و جنگل اثرات جبران‌ناپذیری بر بافت، ساختار و مقاومت خاک خواهد داشت به گونه ای که این آثار منفی تا مدت‌ها قابل بازسازی نخواهد بود(Nwaogu, Okeke, Assuah Adu, Babine & Pechanec, 2017). در زمینه فرسایش و رسوب تحقیقات زیادی صورت گرفته و روش‌های زیادی مطرح هستند(Miguel et al., 2011). ولی روش فرسایشی EPM با هدف بررسی شدت فرسایش خاک و اندازگیری رسوب مدلی کارآمد در جهت شناسایی نقاط فرسایش‌پذیر است تا بتوان طرح‌های حفاظتی و آبخیزداری را در منطقه اجرا نمود(Ghazawi, Wali, Maghami, Abdi & Sharafi, 2012). اخیراً پژوهشگران زیادی در دنیا با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) و تصاویری ماهواره‌ای و با کمک مدل‌های فرسایشی اقدام به برآورد فرسایش و رسوب می‌کنند تا بتوانند مناطق حساس و ضعیف در مقابل فرسایش را شناسایی و کنترل کنند(Nayyeri, Salari & Chardawli, 2021). شناخت نوع فرسایش و علت و مکانیسم به وجود آمدن آن کمک بزرگی به مهار فرسایش و مبارزه با آن می‌کند(Grauso, Fattoruso, Crocetti & Montanari, 2007). همانطور که اشاره شد روش‌های

متنوعی در جهت محاسبه کمی فرایند فرسایش وجود دارد. در این میان اگر برای برآورد فرسایش و رسوب یک حوضه چند مدل باهم مورد مقایسه قرار گیرد صحت و دقت نتایج بیشتر نمایان می‌شود و مدلی که با طبیعت همخوانی بالای دارد شناسایی می‌گردد(Sadogh, Hosseinzadeh & Azadi, 2015). امروزه بهره‌گیری از ابزار سنجش از دور و GIS در قالب مدل‌های تجربی برای محاسبه میزان فرسایش و رسوب بیشتر شده تا محاسبات کمی بصورت نقشه‌های رقومی قابل فهم‌تر شود(Hashemi & Arab Khedri, 2008). بر همین اساس مطالعات روی فرسایش خاک که یکی از مشکلات عمده محیطی به شمار می‌آید نسبت به گذشته کاملتر و دقیقتر شده است(Rahman, Shi & Chongfa, 2009).

فرسایش خاک تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و منابع طبیعی و کشاورزی تلقی می‌شود. بر این اساس نیازمند مطالعات گسترده‌ای در این زمینه است تا اقدامات لازم جهت کنترل آن صورت گیرد ولی اجرای طرح‌های مدیریتی و عملیات‌های حفاظتی، بدون اطلاعات زمانی و مکانی امکانپذیر نخواهد بود(Prasannakumar, Vijith, Abinod & Geetha, 2012). پیامدهای که فرسایش بر منطقه می‌گذارد قابل جبران نیست، چون حجم زیادی از خاک مرغوب و مفید از بین می‌رود در حالی که برای تولید یک سانتیمتر خاک مدتی طولانی بالغ بر ۵۰۰ سال زمان نیاز است. بنابراین مهار و کنترل فرسایش از اهمیت زیادی برخوردار است با طرح‌های پیش بینی شده و مدیریت صحیح می‌توان خسارات ناشی از فرسایش خاک را به حداقل ممکن رساند(Morgan & Nearing, 2011). با وجود اینکه مطالعات داخلی و خارجی زیادی روی روش‌های برآورد فرسایش و رسوب انجام گرفته و با توجه به مسائل فوق و مقبولیت وصحت نتایج دو مدل تجربی EMP و MPSIAC در این پژوهش نیز به برآورد فرسایش و رسوب حوضه زمکان پرداخته شد، تا علاوه بر محاسبه کمی فرسایش خاک و تولید رسوب نقاط آسیب‌پذیر شناسایی و اقدامات مدیریتی و حفاظتی انجام گردد.

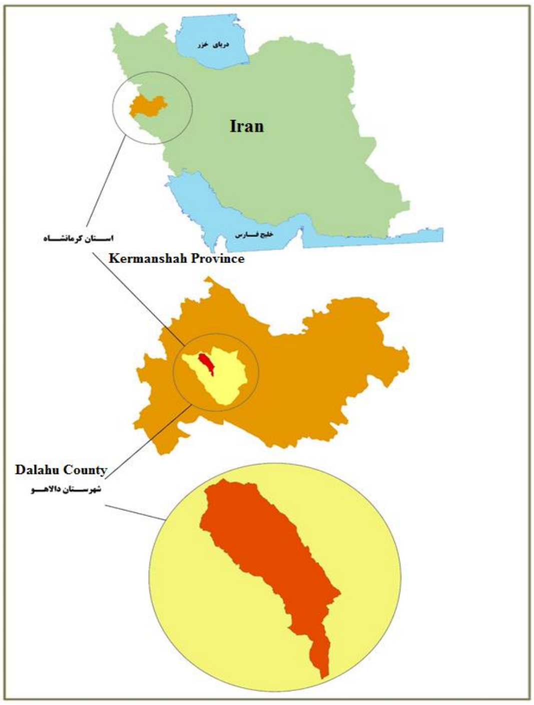
مواد وروش‌ها

موقعیت جغرافیایی حوضه رود زیمکان

حوضه رود زیمکان یا زمکان در شمال شهرستان دالاهو و غرب استان کرمانشاه قرار گرفته است، زهکشی این حوضه به شکل مستطیلی به مساحت۲۳۲۴ کیلومترمربع ازسمت جنوب شرق به سمت شمالغرب جریان پیدا می‌کند(شکل۱و۲). محیط آن برابر با ۳۱۲ کیلومتر می‌باشد. این حوضه از غرب به حوضه پیران و از شمال به حوضه‌های پشت تنگ و حوضه رودخانه لیما محدود می‌شود. حوضه در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه ۴ دقیقه ۳۰ ثانیه تا ۴۶ درجه ۱۱ دقیقه ۸ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه ۳۵ دقیقه ۴۴ ثانیه تا ۳۴ درجه ۲۲ دقیقه ۵۶ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. از جمله مناطق مسکونی در محدوده حوضه ۱۴۹ روستا است که جمعیتی حدود ۳۹۹۷۲ نفر را شامل می‌شود. از جمله روستاهای که بیشترین تمرکز جمعیت را درخود جای داده، می‌توان به روستاهای قوشچی باشی، آسیاب تنوره، ده کهنه، سید باقر و مزرعه رضا علی اشاره کرد. بیشتر فعالیت مردم بومی منطقه روی دامداری، باغداری و کشاورزی دیم و آبی است که به کشت محصولات مانند گندم، ذرت و حبوبات مشغولند.

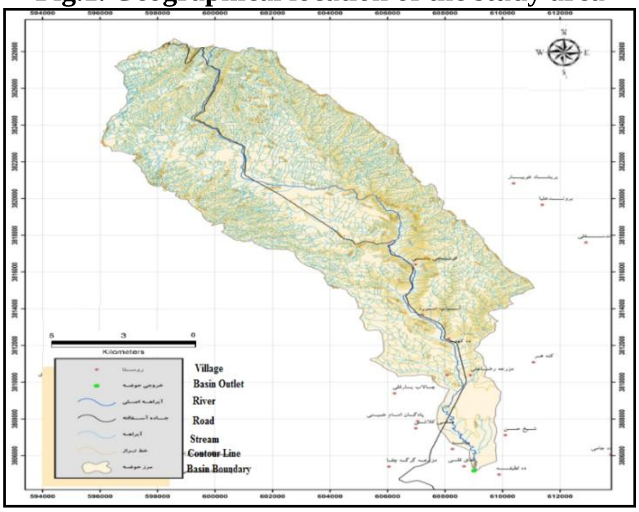
از لحاظ شرایط اقلیمی، حوزه آبریز زمکان در منطقه نیمه مرطوب و معتدل واقع شده است و منشأ عمده بارندگی در نواحی مرتفع و کوهستانی می‌باشد. میانگین بارش سالانه برابر ۴۵۰ میلیمتر و متوسط دمای ماهانه،

بین ۲۸/۲ درجه سانتیگراد در تابستان و تا ۱/۸ درجه سانتیگراد در زمستان در نوسان است. بنابراین میانگین دمای سالانه ۱۶/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. ولی در مرداد ماه دمای هوا تا مرز ۴۲ درجه سانتیگراد بالا و در بهمن ماه تا مرز ۱۳- درجه سانتیگراد افت می‌کند. و میانگین ارتفاع حوضه از سطح آبهای آزاد ۱۵۴۴ متر است. رودخانه‌های اصلی منطقه زمکان نام دارد که با طول ۱۲۵ کیلومتر کل مساحت حوضه را زهکشی می‌کند و به روخانه سیروان در عراق ختم می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Geographical location of the study area



شکل۲- نقشه پایه منطقه مود مطالعه

Fig.2. Drainage network map of the study area

روش‌های انجام پژوهش

انتخاب مدل مناسب با در نظرگرفتن ویژگی‌های هیدورلوژیکی و ژئومورفولوژیکی حوضه، مستلزم ارزیابی دقیق و کاربردی مدل‌های مختلف از طریق مقایسه نتایج آنها با مشاهدات واقعی در یک حوضه آبریز می‌باشد. در این خصوص در پژوهش حاضر از میان مدل‌های موجود، به ارزیابی دو روش MPSIAC و EPM که در سطح جهان و کشور از مقبولیت بیشتری برخورد دارند پرداخته شده و مقادیر به دست آمده با استفاده از دو روش مورد مقایسه قرار گرفت و مدلی که نتایجش به مشاهدات واقعی نزدیکتر بود معرفی گردید، و درادامه اقدام به تهیه نقشه‌های پایه مورد نیاز گردید این نقشه‌ها شامل نقشه کاربری اراضی، پوشش گیاهی، جهت شیب، توپوگرافی، جریانات هیدورلوژیکی حوضه، بافت و عمق خاک می‌باشد.

مدل EPM

در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلویچ(Gavrilovic, 1988)، جهت تخمین میزان فرسایش و رسوبدهی ارائه گردید و پس از ۴۰ سال تحقیق روی پلاتهای فرسایشی در کشور یوگسلاوی به کار گرفته شد. این مدل با ۴ مشخصه اصلی نتایج مفید و قابل قبولی از میزان فرسایش را برآورد می‌کند جدول(۱). عوامل این مدل در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه‌های ایجاد شده در نقشه‌های با فرمت رستر و با پیکسل‌هایی در ابعاد ۲۴×۲۴ متری مورد بررسی قرار گرفته است(Rasouli, 2007).

جدول۱- عوامل روش EPM و نحوه امتیازدهی آنها

Table1- EPM Method Factors and How They Are Scored

شماره Num.	اجزای مدل Model components	علامت Sym.	نحوه تعیین امتیاز محاسبه Determine the calculation score
1	فرسایش Erosion	ψ	مشاهدات صحرایی وتفسیر عکس هوایی Field observations and aerial photo interpretation
2	حساسی سنگ وخاک Sensitivity of rock and soil	Y	مشاهدات صحرایی ونقشه سنگ شناسی Field observations and lithological mapping
3	استفاده اززمین Landuse	Xa	مشاهدات صحرایی ونقشه کاربری اراضی Field observations and landuse mapping
4	شیب Slope	I	شیب متوسط درهرواحد مطالعاتی Average slope per study unit
5	شدت فرسایش Erosion intensity	Z	$Z=Y.Xa(\psi+I^{0/5})$
6	بارندگی Rainfall	H	بارندگی متوسط سالیانه(mm) Average annual rainfall (mm)
7	دما Temperature	T	t= Average annual temperature $T=((t/10+0.1)^{0.5}$

۱. فرسایش حوضه آبریز(ψ): فرسایش حوضه آبریز تحت تاثیر عواملی مانند شیب، پوشش گیاهی، خاک، سنگ رخنمون و کاربری اراضی قرار دارد. مقادیر این پارامتر در حوضه مورد مطالعه از تحلیل لایه‌های فوق در نرم‌فزار ARC/GIS محاسبه می‌شود.

۲. ضریب استفاده از زمین(Xa): مقادیر این پارامتر بعد از تهیه نقشه پوشش گیاهی که بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای ایجاد شده است به دست می‌آید. نقشه پوشش گیاهی با استانداردهای مدل EPM محاسبه و ضریب کاربری اراضی در آن اعمال شد(Gavrilovic, 1988).

۳. حساسیت خاک و سنگ به فرسایش (Y): این پارامتر از ترکیب دو لایه زمین‌شناسی و خاک‌شناسی درمحیط ARC/GIS محاسبه شد. و مقدار این پارامتر با توجه به رخنمون‌های سنگی در حوضه مورد مطالعه و نمونه‌های خاک، تقسیم بندی گردید.

٤. شیب متوسط حوضه(I): در این پژوهش جهت استخراج پارامتر شیب، ابتدا نقشه توپوگرافی رقومی شده با کمک روش درون یابیIDW در محیط GIS به نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM تبدیل شدند و در ادامه نقشه با دستورSLOPE در محیط نرم افزاری، نقشه درصد متوسط شیب استخراج گردید.

باتوجه به چهار فاکتور محاسبه شده در مرحله قبل (شرایط فرسایش حوضه آبریز، کاربری اراضی، حساسیت خاک و سنگ، شیب متوسط حوضه) مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش برای هریک از اجزای واحد اراضی با توجه به رابطه(۱) محاسبه گردید.

$$Z=Y.X_a(J+I^{0.5}) \qquad (۱)$$

با قرار دادن مقدار Z در جدول استاندارد که براساس ضریب شدت فرسایش(Z) تنظیم شده است، کلاس فرسایش برای هر واحد حوضه تعیین می‌گردد. و نقشه فرسایش حوضه در محیط ARC/GIS ترسیم شد. در روش EPM برای تخمین متوسط سالانه رسوب ویژه در حوضه آبریز از رابطه(۲) استفاده می‌شود.

$$W_{SP} =T.H.\pi .Z \qquad (۲)$$

W_{sp}: برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع درسال

H : ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبریز بر حسب میلیمتر

T: ضریب درجه حرارت با استفاده از رابطه $T=(t/10+0.1)^{0.5}$

t میانگین درجه حرارت سالانه در حوضه آبریز به درجه سانتیگراد است. برای این منظور جهت تعیین متوسط سالانه تولید رسوب ویژه برای هر یک از واحدهای هیدورلوژیکی محاسبه شد، و سپس مقدار رسوب سالانه حوضه مورد مطالعه با استفاده از رابطه(۳) تعیین گردید.

$$V_P=F\times W_{SP} \qquad (۳)$$

که در آن V_P رسوب حوضه برحسب متر مکعب در سال و F مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد.

مدل MPSIAC

روش PSIAC در سال ۱۹۶۸ توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبات شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک ارائه شد. این روش در سال ۱۹۸۲ اصلاح شد(Refahi, 2016). در ایران، این مدل در سال ۱۳۵۲ برای نخستین بار در حوزه آبخیز سد دز به اجرا درآمد. که ۹ عامل را برای محاسبه فرسایش و تولید رسوب ارزیابی می‌کند. هر یک از این عوامل، از دیدگاه کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند به طوریکه از نظر کیفی دارای پنج درجه و از لحاظ کمی از ۱۰- تا ۲۵+ امتیازبندی شده‌اند.

۱. زمین شناسی سطحی منطقه(Y1): شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌زایی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. سنگ‌های سست و نرم معمولاً به سادگی فرسوده شده و نقش مهمی

را در تولید رسوب برعهده دارند. این عامل را با Y_1نشان می‌دهند. امتیاز آن ۱۰ -۰ در نظر گرفته شده است (جدول ۳). در این روش، امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی از رابطه۴ حاصل می‌شود:

$$Y_1 = X_1 \quad (۴)$$

که در آن X_1 امتیاز عامل زمین‌شناسی و Y_1شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی است که براساس نوع سنگ، سختی، شکستگی و هوازدگی تعیین می‌شود.

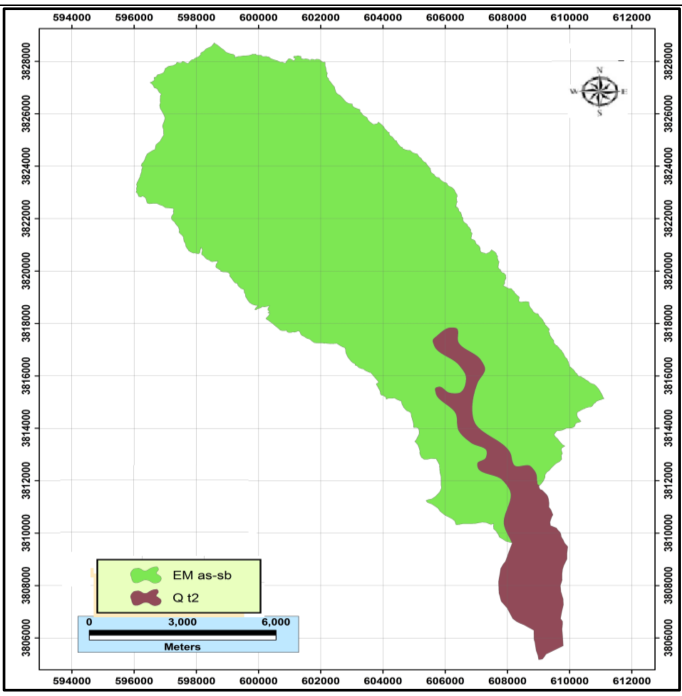
برای تعیین مقدار عامل زمین‌شناسی سطحی، در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک، مساحت هر گروه فرسایش مشخص و متوسط مقدار عامل زمین‌شناسی به صورت میانگین وزنی محاسبه گردید.

لازم به ذکر است که واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل سازندهای آسماری- شهبازان و پادگانه‌های آبرفتی می‌باشد(شکل۳) و بیشتر قسمت‌های مختلف حوضه مورد بررسی عمدتاً در برگیرنده رسوبات دوران چهارم است(جدول۲).

جدول۲- رده‌های کیفی فرسایش‌پذیری در واحدهای سنگ شناسی

Table 2- Qualitative categories of erodibility in lithological units

سازند Formation	نماد Symbol	سنگ شناسی Lithology	امتیاز Score	متوسط وزنی امتیاز Weighted average score	توصیف کیفی Qualitative description
آسماری-شهبازان Asmari-Shahbazan	EMas-sb	Limestone سنگ آهک	4	4	فرسایش کم (سنگ های مقاوم) Low erosion
		Dolomite دولومیت	4		
واحد Qt2	Qt2	(آبرفت) Alluvium	8	8	فرسایش زیاد (سنگ های فرسایش پذیر) High erosion



شکل۳- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig.3. Geological map of the study area

۲. خاک‌شناسی(Y2): در این بررسی ضریب فرسایندگی خاک(K) برای محاسبه فاکتور خاک‌شناسی (Y2) خاک از رابطه۵ در جدول (۳) استفاده شده است.
۳. آب وهوا(Y3): عامل آب و هوا از روی شدت بارش با مدت دوام شش ساعته (در دوره بازگشت دو ساله) در ایستگاه‌های باران سنجی حوضه مورد مطالعه برآورد شده است. مقادیر این پارمتر با استفاده از رابطه۶ که در جدول(۳) اشاره شده به دست می‌آید.
۴. رواناب(Y4): در روش MPSIAC برای برآورد امتیاز عامل رواناب از رابطه۷ در جدول(۳) استفاده می‌شود. لازم به ذکر است، برای مطالعه آبدهی بر اساس تناوب دوره‌های خشک و مرطوب، دوره‌های سیلاب منطقه را بررسی و مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای و رواناب برای حوضه تعیین می‌گردد(شکل۷).
۵. توپوگرافی(Y5): در این پژوهش جهت استخراج پارامتر شیب، ابتدا نقشه توپوگرافی رقومی شده ترسیم، سپس در بانک داده‌ها قرار می‌گیرد. در ادامه این خطوط با استفاده از روش درون‌یابی در محیط GIS به نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM تبدیل شد. و نقشه خروجی را با دستور SLOPE در محیط نرم افزار بصورت نقشه متوسط شیب استخراج گردید(شکل۶). مقادیر این پارامتر با استفاده از رابطه۸ که در جدول(۳) اشاره شده به دست می‌آید.
۶. پوشش گیاهی(Y6): در روشMPSIC درصد تاج پوشش گیاهی و نقش آن روی فرسایش منطقه مورد محاسبه قرار می‌گردد(شکل۴). در مطالعات سنجش از دور جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. جهت استخراج درصد پوشش گیاهی، شاخصNDVI به دلیل این که همبستگی بالای با تاج پوشش گیاهی دارد. انتخاب شده است. مقادیر این پارمتر با استفاده از رابطه۹ که در جدول(۳) اشاره شده به دست می‌آید.
۷. کاربری اراضی(Y7): استفاده از زمین و نوع کاربری اراضی مقاومت خاک را در مقابل انواع فرسایش آبی و بادی تحت الشعاع قرار می‌دهد(شکل۵). و عدم مدیریت صحیح در کاربری زمین روند تضعیف خاک را تشدید می‌کند. برای تعیین امتیاز این پارمتر از رابطه ۱۰ در جدول(۳) استفاده می‌شود.
۸. وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه(Y8): در روش MPSIC برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش، از رابطه ۱۱ در جدول (۳) استفاده می‌شود. تعیین این عامل در حوضه با کمک اطلاعات مربوط به داده‌های صحرایی و با توجه به نوع فرسایش در سطح حوضه آبریز به دست می‌آید.
۹. فرسایش آبراهه ای(رودخانه‌ای) و انتقال رسوب(Y9): برای تعیین امتیاز این عامل از رابطه ۱۲ در جدول(۳) استفاده شده است.

محاسبه درجه فرسایش و رسوبدهی در روش MPSIAC

پس از تعیین مجموع امتیازات عوامل ۹گانه، جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب سالانه حوضه از رابطه ۱۳ استفاده گردید(Moghimi & Mahmoodi, 2005).

$$Q_S=3877e^{0.0353R} \quad (۱۳)$$

Q_s: میزان رسوبدهی سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر، این ضریب، معیار محاسبه رسوب ویژه ورسوب سالانه قرار گرفته است.

R : درجه رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل ۹ گاه

e : عدد نپر برابر ۲/۷۸

جدول ۳- عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب با امتیازات و روابط مربوطه در مدل MPSIAC

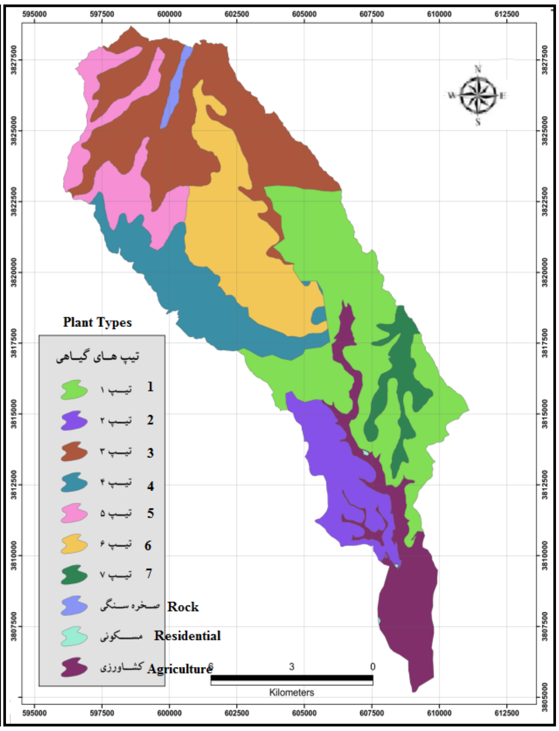
Table 3- Factors affecting soil erosion and sediment production with corresponding scores and relationships in the MPSIAC model (Esmali Ouri & Abdollahi, 2010)

ردیف	عوامل موثردر فرسایش و تولید رسوب	شرح پارامترها	نحوه محاسبه امتیاز در روش MPSIAC	
1	زمین شناسی Geology	X_1: امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش (۰-۱۰)	$Y_1 = X_1$	رابطه ٤ (4)
2	خاک Soil	K: عامل فرسایش پذیری خاک در معادله جهانی	$Y_2 = 16.67k$	رابطه ٥ (5)
3	آب و هوا Climate	X_3: بارندگی ٦ ساعته با دوره بازگشت دو ساله	$Y_3 = 0.2\ X_3$	رابطه ٦ (6)
4	روان آب Runoff	R: ارتفاع روان آب سالانه (mm) و Qp دبی ویژه سالانه (m3/s.km2)	$Y_4 = 0.006\ R + 10\ QP$	رابطه ٧ (7)
5	پستی وبلندی Topography	S: درصد شیب	$Y_5 = 0.33\ S$	رابطه ٨ (8)
6	پوشش گیاهی Vegetation	P_b: درصد اراضی لخت	$Y_6 = 0.2\ P_b$	رابطه ٩ (9)
7	کاربری اراضی Landuse	P_c: درصد تاج پوشش گیاهی	$Y_7 = 20 - 0.2P_c$	رابطه ١٠ (10)
8	وضعیت فعلی فرسایش Current status of erosion	SSF: امتیاز عامل سطحی خاک در مدل B.L.M	$Y_8 = 0.25\ SSF$	رابطه ١١ (11)
9	فرسایش رودخانه ای River Erosion	SS.F.G: امتیاز فرسایش خندق در مدل B.L.M	$Y_9 = 1.67\ SS.F.G$	رابطه ١٢ (12)

جدول ۴-کلاس بندی فرسایش و رسوب با روش MPSIAC

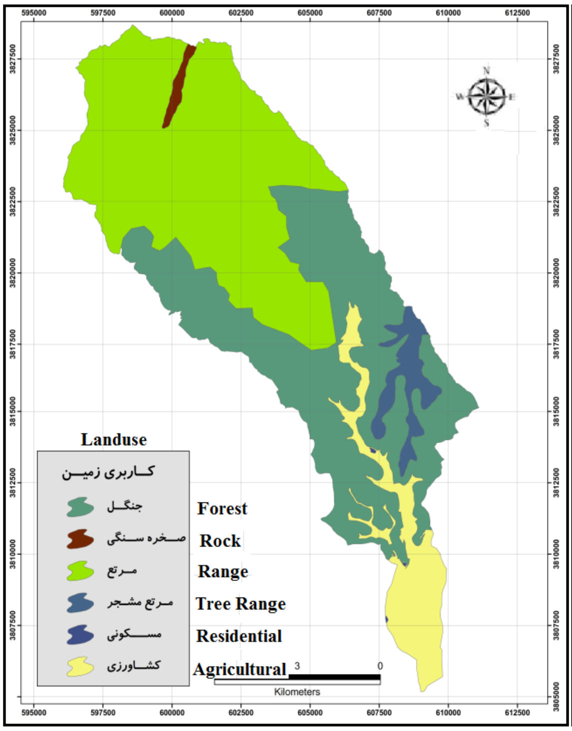
Table 4- Erosion and sediment classification using the MPSIAC method

کلاس رسوبدهی و فرسایش Sedimentation and erosion class	رده کیفی فرسایش پذیری Erodibility quality category	تولید رسوب سالانه Annual sediment production M^3/km^2	نمرات نشان دهنده شدت فرسایش پذیری Scores indicating the severity of erosion
V	خیلی زیاد Very High	> 1012	$8< X \leq 10$
IV	زیاد High	520 - 1012	$6<X \leq 8$
III	متوسط Mdium	196 - 520	$4<X \leq 6$
II	کم Low	95- 196	$2<X \leq 4$
I	خیلی کم Very low	< 95	$0<X \leq 2$



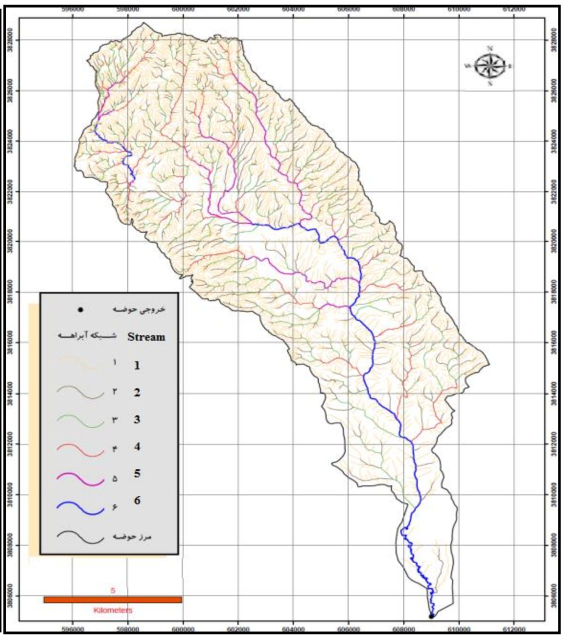
شکل۴- نقشه کاربری اراضی

Fig.4. Land use map



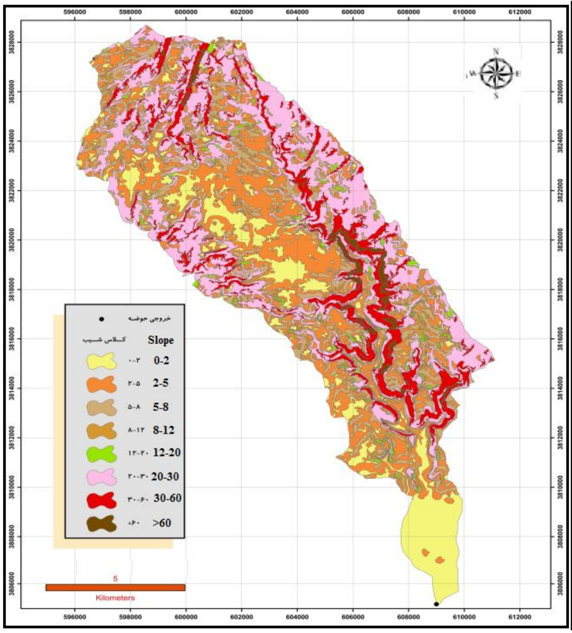
شکل۵- نقشه پوشش گیاهی

Fig.5. Vegetation map



شکل۶- نقشه شبکه آبراهه

Fig.6. Drainage Network map



شکل۷- نقشه شیب

Fig.7. Slope map

جدول۵- میانگین امتیاز اجزای مدل‌های EPM و MPSIAC در کل حوضه

Table 5- Average score of EPM and MPSIAC model components in the basin

مدل Model	EPM		MPSIAC	
ردیف Row	اجزای مدل Model components	میانگین امتیاز Average score	اجزای مدل Model components	میانگین امتیاز Average score
1	شرایط فرسایش erosion conditions	0.58	سنگ شناسی Lithology	9.10
2	ضریب حساسیت سنگ وخاک Rock and soil sensitivity coefficient	0.1	خاک Soil	10.14
3	ضریب استفاده اززمین Land use coefficient	0.47	اب وهوا Climate	10.12
4	شیب Slope	0.16	رواناب Runoff	13.02
5	ضریب شدت فرسایش Erosion intensity coefficient	0.55	پستی بلندی Topography	23.16
6	بارندگی Rainfall	362.7	پوشش سطح زمین Land surface cover	12.34
7	دما Temperature	16.3	استفاده اززمین Landuse	17.38
8	-	-	وضعیت فعلی فرسایش درسطح حوضه Current status of erosion at the basin level	19.67
9	-	-	فرسایش رودخانه River erosion	33.32

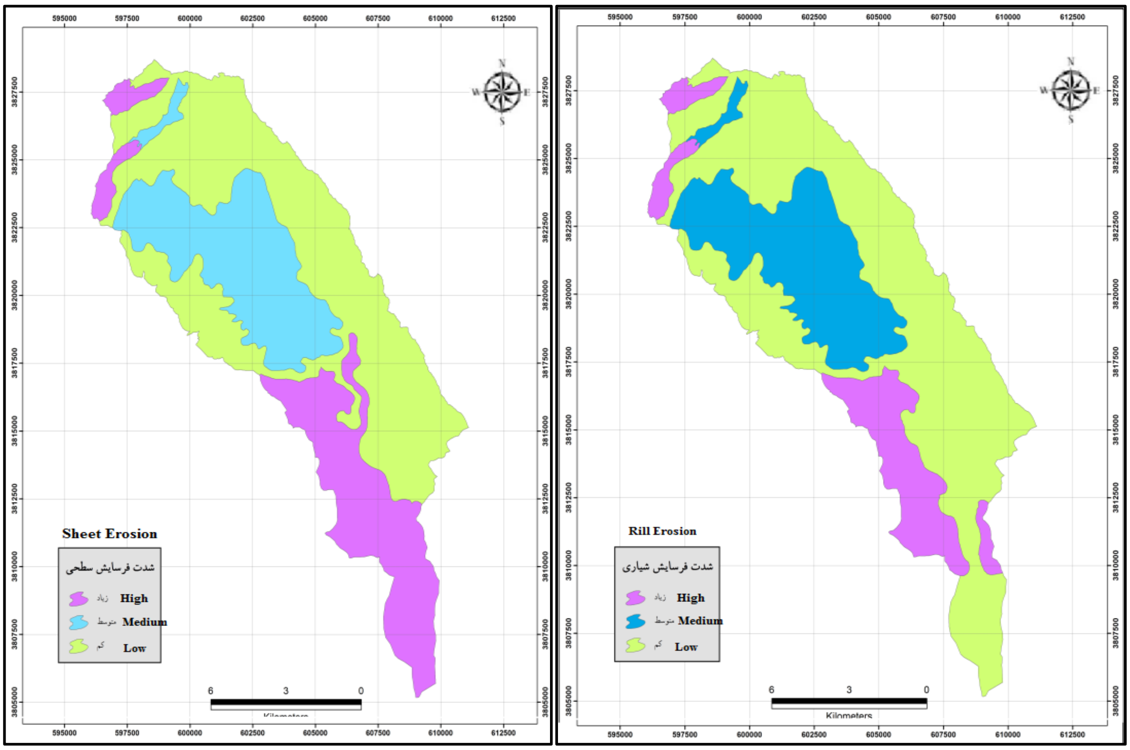
نتایج و بحث

فرسایش خاک در کشورهای در حال توسعه روندی افزایشی دارد. تشدید فرسایش باعث از بین رفتن خاک در بخش کشاورزی، کاهش ظرفیت تولیدی خاک وآلودگی آب‌های سطحی در اثر رسوب‌گذاری می‌شود. اندازگیری مقادیر دقیق فرسایش و رسوب به دلایل اقتصادی، فنی، حفاظتی در تمامی نقاط امکان‌پذیر نیست. از این رو مناسب‌ترین راهکار، پیش بینی یا محاسبه کمی فرسایش و رسوب است. که لازمه‌ی آن آگاهی از مکانیزم‌های فرسایش و عوامل مؤثر بر آن است. از طرفی انتخاب مدل مناسب با شرایط منطقه مستلزم ارزیابی دقیق و کاربردی مدل‌های مختلف از طریق مقایسه نتایج حاصل از بکارگیری آن‌ها به ضریب رسوبدهی واقعی در یک حوضه آبریز می‌باشد. براین اساس، در این پژوهش برآورد فرسایش و رسوب حوضه زمکان با استفاده از دو مدل EPM و MPSIAC مورد پردازش قرار گرفت و خروجی این دومدل مقایسه، و میزان نزدیک بودن خروجی هرکدام از مدلها به مشاهدات واقعی حوضه مشخص شد(شکل۸) و در نهایت موثرترین و کاراترین مدل معرفی گردید.

در نتایج برآورد پارامترهای مورد بررسی در مدل EPM مشخص شد که بر اساس عامل حساسیت خاک و سنگ به فرسایش، سنگ‌های نامقاوم در بخش‌های پایینی حوضه متمرکزتر هستند. و شدت ضریب فرسایش

در این نواحی بیشتر مشاهده می‌شود و تغییر کاربری زمین موجب شده تا مساحت بیشتری از حوضه تحت تاثیر هدر رفت خاک قرار بگیرد در این بخش ضریب استفاده از زمین بیش از ۰/۴۷ می‌باشد. که ضعیف بودن پوشش گیاهی در این ناحیه را نشان می‌دهد. و مقادیر رسوب محاسبه شده با این روش ۳۶۲۴/۷۲ تن در سال تخمین زده شده است. مقدار Z به دست آمده برای این حوضه بیش از ۱ است که نشان دهنده فرسایش‌پذیری شدید این حوضه می باشد.

نتایج بررسی مدل MPSIC و تلفیق و تحلیل ۹ پارامتر این روش، مشخص شد که این مدل همانند مدل EPM نشان می‌دهد که تقریباً بیش از ۶۰ درصد حوضه آبریز در طبقه فرسایش‌پذیر و تولید رسوب قرار دارد. با مقایسه نتایج این پژوهش و مطالعات پیشین، مشخص شد که روش MPSIC نتایج دقیق‌تر و نزدیکتر به واقعیت را نسبت به مدل EPM به دست می‌آورد(شکل ۸). دلیل واضح این موضوع این است که روش MPSIC پارامترهای بیشتری را در بر می‌گیرد و فاکتورهای بیشتری را در محاسبه فرسایش دخالت می‌دهد. براین اساس برای مطالعات تفضیلی استفاده بهتری دارد. ولی می‌توان گفت مدل EPM در مطالعات اجمالی فرسایش خاک موفقیت آمیزتر عمل می‌کند. و از آنجاییکه به آمار خاصی نیز نیاز ندارد برای حوضه‌های بدون آمار براحتی قابل اجراست. همچنین با استفاده ازقابلیت نرم‌افزارArc/GIS به خوبی می‌توان میزان همخوانی وتوافق بین طبقات وضعیت فرسایش حاصله از دومدل را با هم مقایسه نمود.نتایج این مقایسه در جدول(۶) درج شده است.



(a) (b)

شکل۸- نقشه شدت فرسایش حوضه زیمکان با مقایسه دوروش EPM (a) و MPSIAC (b)
Fig.8. Erosion intensity map of the Zimkan basin comparing EPM (a) and MPSIAC (b)

جدول۶- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده با دو مدل MPSIAC و EPM

Table 6- Comparison of observed and estimated values with the two models MPSIAC and EPM

رسوب کل Total Sediment (ton/ha/year)	رسوب ویژه Specific Sediment (ton/ha/year)	فرسایش کل Total Erosion (ton /year)	فرسایش ویژه Specific Erosion (ton/ha/year)	فاکتور / واحد Factor/Unit
2461.63	2.32	5142.9	2.81	MPSIAC
3624.72	2.74	6401.2	3.68	EPM
2559.11	2.38	5261.9	3.11	مقدار مشاهده‌ای Observed value

نتیجه‌گیری

یکی از مسائل جدی در بحث مدیریتی حوضه‌های آبریز در سطح ملی و جهانی فرسایش است که پیامدهای آن به صورت مستقیم در کاهش حاصلخیزی و هدر رفت خاک و پرشدن مخازن سد و کاهش کیفیت آب و به صورت غیر مستقیم در کاهش روند چرخه توسعه کشور می‌توان دید. لازمه برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات اصولی جهت مهار و کنترل فرسایش، آگاهی از میزان فرسایش در یک حوضه آبریز و شناسایی نقاط بحرانی و اولویت-بندی آنها جهت اجرای عملیات‌های حفاظتی و اقدامات مدیریتی در سطح حوضه الزامی است. در این پژوهش هدف ارزیابی خطر فرسایش خاک و همچنین پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش در حوضه آبریز زیمکان با استفاده از دو مدل EPM و MPSIAC در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی(Arc GIS) و با کمک فناوری سنجش از دور انجام گردید. در گام نخست هریک از فاکتورهای مدل‌های مورد بحث جهت برآورد مقادیر فرسایش در محیط Arc/GIS مورد تحلیل و محاسبه قرار گرفت. و توزیع مکانی فرسایش در بخش‌های مختلف حوضه به دست آمد. در نتایج حاصله مشخص شد که در هر دو روش EPM وMPSIAC، بیشترین میزان فرسایش در بخش‌های پایین دست جنوب و جنوبغرب حوضه و کمترین مقادیر فرسایش مربوط به بخش‌های شمال شرق حوضه می‌باشد. میزان فرسایش ویژه و کل در حوضه مورد مطالعه با استفاده از دو مدلMPSIC و EPM به ترتیب ۲/۸۱، ۳/۶۸ تن در هکتار در سال و ۵۱۴۲/۹، ۶۴۰۱/۲ تن در سال برآورد گردید. در گام بعدی با تلفیق لایه‌های مدل فرسایشی حوضه مورد مطالعه از لحاظ فرسایش پذیری به سه رده فرسایشی کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد. با وجود شرایط اقلیمی مساعد در منطقه و پوشش مناسب جنگل و مرتع حوضه تا حدودی خاک در مقابل ریزش‌های جوی شدید محافظت شده است. ولی اقدامات انسان و تغییر کاربری و به زیر کشت بردن مراتع ضعیف جهت کشت دیم و تمرکز مناطق مسکونی در بخش‌های پایین دست حوضه، مقادیر فرسایش و هدر رفت خاک را در این نواحی بیشتر از نقاط دیگر بالا برده است. در تحلیل‌های انجام شده روی دو مدل مذکور مشخص شده که تفات ناچیزی بین میزان رسوب محاسبه شده در روش MPSIC که معادل ۲۴۶۱/۶۳ تن در هکتار در سال می‌باشد. با مقدار رسوب مشاهده‌ای که معادل ۲۵۵۹/۱۱ تن در هکتار در سال است وجود دارد. این در حالی است که این اختلاف در مدل EPM بیشتر مشاهده می‌شود. و همچنین کلاس فرسایش کم بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است که حدوداً ۵۸ درصد مساحت را دارا می‌باشد و کلاس فرسایش زیاد و متوسط جمعاً مساحتی حدود ۴۲ درصد حوضه را شامل می‌شود. همچنین مقادیر رسوب ویژه و سالانه در دو مدلMPSIC و EPM به ترتیب برابر با ۲/۳۲، ۲/۷۴ تن در هکتار در سال و ۲۴۶۱/۶۳، ۳۶۲۴/۷۲

تن در سال می‌باشد. که با این وجود وضعیت حوضه را در شرایط شدیدی از لحاظ هدر رفت خاک نشان می‌دهد. لذا شناسایی نقاط بحرانی و ضعیف در مقابل فرسایش از جمله کاربردهای مهم طبقه بندی فرسایش خاک به حساب می‌آید. بر همین اساس مدیریت صحیح در بخش کشاورزی و بالابردن آگاهی مردم بومی منطقه دراستفاده از خاک و انجام عملیات حفاظتی و آبخیزداری در سطح حوضه در اولویت قرار دارد.

References

Asghari Saraskanrood, S., Mozaffari, H., & Esfandiari, F. (2022). Modeling the Erosion and Sedimentation Rate of Sojasrood River before and after Construction of Golaber Dam with Machine Learning Algorithms. *Environmental Erosion Research Journal*, *12*(2) ,172-204. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517812.1401.12.2.12.9

Esmali Ouri, A., & Abdollahi, K. (2010). *Watershed management and soil conservation*. Ardabil: Mohaghegh Ardabili Publications. [In Persian]

Gavrilovic, Z. (1988). Use of an Empirical Method(Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential Streams. In *International Conference on River Regime. Hydraulics Research Limited, Wallingford, Oxon UK*. 411-422.

Ghazawi, R., Wali, A. A., Maghami, Y., Abdi, Z., & Sharafi, S. (2012). Comparison of EPM, MPSIAC and PSIAC models in estimating erosion and sedimentation using GIS. *Geography and development*, *10*(27), 117-126. [In Persian] http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2012.488

Grauso, S., Fattoruso, G., Crocetti, C., & Montanari, A. (2007). A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield in a river basin by means of geomorphic parameters and regression relationships. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *4*(2), 627-654. http://dx.doi.org/10.5194/hessd-4-627-2007

Guzmán, G., Barrón, V., & Gómez, J. A. (2010). Evaluation of magnetic iron oxides as sediment tracers in water erosion experiments. *Catena*, *82*(2), 126-133. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.05.011

Hashemi, S. A. A., & Arab Khedri, M. (2008). Evaluation of EPM Model by Sediment Measurement in Reservoirs of Small Dams. *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(42), 345-355. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1386.11.42.28.7

Hejazi, A., Ahmadi, A., & Shahabi, H. (2018). Estimates of erosion amount and sediment production in the Kangir watershed in Ilam Province using E.P.M model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *7*(16), 1-22. [In Persian] https://journals.usb.ac.ir/article_3628.html

Kassas, M. (1984). The global biosphere: Conservation for survival. *World Futures: Journal of General Evolution*, *19*(3-4), 209-222. https://doi.org/10.1080/02604027.1984.9971981

Mezbani, M., Rezaei Moghadam, M. H., & Hejazi, A. (2021). Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *10*(1), 41-63. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67238.0

Miguel, P., Samuel-Rosa, A., Dalmolin, R. S. D., PEDRON, F., Bueno, J. M. M., & Balbinot, A. (2011). The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. *Anais*

XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, *85*, 9227-9230. http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.07.14.41/doc/p1441.pdf

Moghimi, E., & Mahmoodi, F. (2005). *The research method of Naural Geography*. Tehran: Ghomes. [In Persian]

Morgan, R. P. C., & Nearing, M. A. (2011). *The future role of information technology in erosion modeling*. Hand Book of Erosion Modeling.

Nayyeri, H., Salari, M., & Chardawli, Z. (2021). Prioritization of Linear Erosion Using Morphometric and Geomorphological Indicators Case Study: Gheshlagh Watershed, Sanandaj West of Iran. *Hydrogeomorphology*, *8*(28), 191-214. [In Persian] https://doi.org/10.22034/hyd.2021.47623.1601

Nwaogu, C., Okeke, O. J., Assuah Adu, S., Babine, E., & Pechanec, V. (2017). Land use—Land cover change and soil-gully erosion relationships: A study of Nanka, South-Eastern Nigeria using geoinformatics. In *Proceedings of GIS Ostrava*. Cham: Springer International Publishing, 305-319.

Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., & Geetha, N. J. G. F. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience frontiers*, *3*(2), 209-215. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.003

Rahman, M. R., Shi, Z. H., & Chongfa, C. (2009). Soil erosion hazard evaluation—an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecological Modelling*, *220*(13-14), 1724-1734. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.004

Rasouli, A. A. (2007). *An analytic approach to GIS technology*. Tabriz: University of Tabriz. [In Persian]

Rastgoo, S., Ghahraman, B., Sanei Nejad, H., Davary, K., & Khodashenasi, S. R. (2006). Estimation of Erosion and Sedimentation of Tang-e-Kenesht Basin with Empirical Models of MPSIAC and EPM Using GIS. *Journal of Water and Soil Science, 10*(1), 91-105. [In Persian] http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1385.10.1.7.2

Refahi, H. (2016). *Water erosion and its control*. Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Sadeghi, S. H., Mostafazadeh, R., & Sadoddin, A. (2015). Response of Sedimentgraphs and Sediment Rating Loops to Land Use Type and Spatial Pattern. *Watershed Engineering and Management*, *7*(1), 15-26. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.100900

Sadogh, S. H., Hosseinzadeh, M. M., & Azadi, F. (2015). Determining the Erosion in Kahman Drainage Basin Using EPM, BLM and Fargas Models. *Hydrogeomorphology*, *2*(2), 137-154. [In Persian] https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.2.8.7

Shirzadi, H. (2009). *Landslide potential on the new road from Sanandaj to Marivan using the AHP model*. Master's thesis, University of Tehran. [In Persian]

Talebi Khiavi, H., Zabihi, M., & Mostafazadeh, R. (2017). Effects of Land-use Management Scenarios on Soil Erosion Rate using GIS and USLE Model in Yamchi Dam Watershed, Ardabil. *Journal of Water and Soil Science, 21*(2), 221-234. [In Persian] http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.2.221